

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08242025
PUBLICATION DATE : 17-09-96

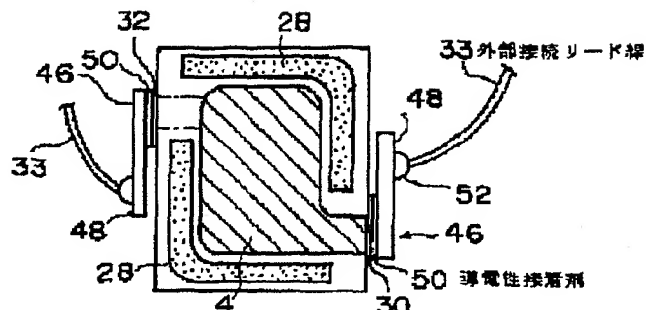
APPLICATION DATE : 03-03-95
APPLICATION NUMBER : 07070773

APPLICANT : HITACHI METALS LTD;

INVENTOR : KAZAMA YOICHIRO;

INT.CL. : H01L 41/083 B25J 19/00 H02N 2/00

TITLE : PIEZOELECTRIC ACTUATOR



ABSTRACT : PURPOSE: To provide a piezoelectric actuator in which piezoelectric elements are interconnected with electrodes by simple means without using solder.

CONSTITUTION: A plurality of piezoelectric element plates are formed with an internal electrode on a surface of a piezoelectric seat and stacked, and a piezoelectric element having an electrode lead of the internal electrode on a side surface is formed, and a plurality of piezoelectric elements are connected to form a piezoelectric element pillar, and a piezoelectric element coupling electrode 46 having a thin plate form is made of a conductive material having elasticity and is adhered along a surface of the electrode lead of this piezoelectric element pillar with conductive adhesives 50. Thus, as coupling electrodes can be connected without using solder, it is possible to prevent silver easing or heat shock element damages caused by solder heat.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-242025

(43) 公開日 平成8年(1996)9月17日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 41/083

B 2 5 J 19/00

H 0 2 N 2/00

H 0 1 L 41/08

B 2 5 J 19/00

H 0 2 N 2/00

Q

A

B

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全9頁)

(21) 出願番号

特願平7-70773

(22) 出願日

平成7年(1995)3月3日

(71) 出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72) 発明者 渡部 嘉幸

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72) 発明者 風間 洋一郎

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社磁性材料研究所内

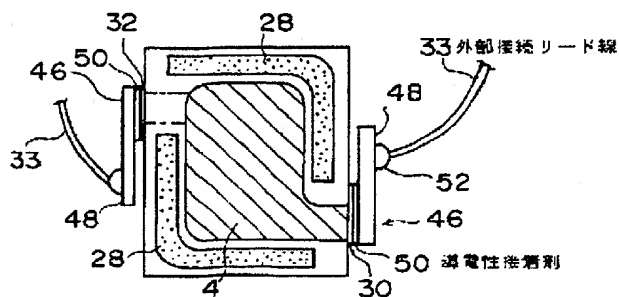
(74) 代理人 弁理士 浅井 章弘

(54) 【発明の名称】 圧電アクチュエータ

(57) 【要約】

【目的】 圧電素子間を連結する圧電素子連結電極を半田を用いなくて容易に取り付けた圧電アクチュエータを提供する。

【構成】 圧電シート2の表面に内部電極4を形成してなる圧電素子板21を複数枚積層して、前記内部電極の電極取り出し部14を側面に有する圧電素子22を形成し、この圧電素子を複数個接合して圧電素子柱44を形成し、この圧電素子柱の前記電極取り出し部の面に沿って弾性を有する導電材料よりなる薄板状の圧電素子連結電極46を導電性接着剤50により貼り付けて形成するように構成する。これにより、半田を用いることなく連結電極を接合できるので、半田熱に起因する銀喰いやヒートショック素子破損を防止する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電シートの表面に内部電極を形成してなる圧電素子板を複数枚積層して、前記内部電極の電極取り出し部を側面に有する圧電素子を形成し、この圧電素子を複数個接合して圧電素子柱を形成し、この圧電素子柱の前記電極取り出し部の面に沿って弾性を有する導電材料よりなる圧電素子連結電極を導電性接着剤により貼り付けて形成するように構成したことを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項2】 前記圧電素子連結電極が、薄板状の弾性を有する導電材料よりなることを特徴とする請求項1に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項3】 前記圧電素子の電極取り出し部の面には、各内部電極を一層おきにそれぞれ接続するための外部電極が形成されており、前記圧電素子連結電極は、この外部電極の表面上に接合されることを特徴とする請求項1又は2に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項4】 前記圧電素子連結電極は、その幅方向に沿って形成された切り込み部が、前記圧電素子連結電極の長さ方向に沿って複数個設けられており、前記切り込み部により前記圧電素子連結電極の伸長を許容するヒンジ機能を持たせていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項5】 前記隣設する切り込み部間のピッチは、前記圧電素子の厚みと略同一であることを特徴とする請求項4記載の圧電アクチュエータ。

【請求項6】 前記圧電素子連結電極は、前記圧電素子毎にピンポイント的に接続されていることを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項7】 前記圧電素子連結電極は、外部接続リード線を接続するためのランド部を有することを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、X-Yステージの位置決め機構、超音波モータ、マスフローコントローラ等を使用される積層型の圧電アクチュエータに関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、X-Yステージの位置決め機構、超音波モータ、マスフローコントローラ等のアクチュエータとして使用する微小変位素子として、圧電セラミック材と薄膜電極とを交互に積層してなる圧電素子が知られており、電界により圧電セラミック材が伸縮して歪む効果を利用して小ストロークで大きな荷重を必要とする部位のアクチュエータとして使用されている。この素子は製造ラインの主要部品に組み込まれていることから、長期信頼性が要求され、しいては機械的強度や耐湿性が高いことが要求されている。

2

【0003】この種の従来の圧電素子の構造を図14に基づいて説明する。図14は全面電極型の従来の圧電アクチュエータの斜視図を示し、この圧電アクチュエータは、例えばチタン酸・ジルコン酸鉛(PZT)等のセラミック材よりなる圧電シート2と白金或いは銀-パラジウム等の薄膜よりなる内部電極4とを交互に多数、例えば100層程度積層して構成されている。内部電極4の端部は全周に亘って外へ露出しており、この内部電極4には、交互に異なる極性の電圧を印加しなければならないことから、その印加電極を形成するために、ブロック状の圧電素子の直交する2つの側面に絶縁層6、8を塗布し、一方の絶縁層6においては一層おきに内部電極4の端部に沿ってダイサーで削って内部電極の端部を再度露出させ、そして、他方の絶縁層8においては上記と異なる一層おきの内部電極4の端部に沿って同様にダイサーで削って内部電極の端部を再度露出させる。

【0004】そして、上記各絶縁層6、8上に銀ペースト等よりなる外部電極10、12を塗布形成して露出させた内部電極4を一層おきに電氣的に接続する。従って、一方の外部電極10には、一層おきに内部電極が共通に接続され、他方の外部電極12には上記と異なった一層おきの内部電極が共通に接続されるので、これらの外部電極10、12間に直流電圧を印加することにより各圧電シート2に電界を印加してこれに電歪効果を生ぜしめることができる。

【0005】他の全面電極型の圧電アクチュエータとしては、例えば特開昭63-155684号公報や特開平4-256381号公報に開示されたものが知られており、前者のアクチュエータにあっては、一層おきの圧電板の側部に金属突起を設け、この金属突起間を掛け渡すようにして側面リード線を接続して外部電極を設けている。また、後者のアクチュエータにあっては、アクチュエータの側面に絶縁層を介して外部電極を形成し、この外部電極と一層おきの内部電極とをワイヤボンダーにより金線で接続して、一層おきの内部電極を共通に接続している。

【0006】また交互電極型の圧電アクチュエータは、前記の圧電シート全面に内部電極を形成した全面電極型の圧電素子アクチュエータと異なり、一部のみに圧電シート2の端部に至る電極取り出し部14を形成しておく以外は圧電シート2の表面の周縁部には何ら内部電極を形成せずにシート端部より僅かな間隔を隔てて内部電極4を形成する。そして、このように形成した圧電シート2を図15及び図16に示すように一層おきに内部電極の電極取り出し部14が交いに反対方向になるように積層し、これにより電極取り出し部14の端部が外側に露出するので、ここに外部電極10、12を形成することにより、一層おきの内部電極同士を電氣的に接続する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の通常のアクチュ

エータにあっては、まず内部電極を表面に形成した薄いセラミック層を23枚程度だけ積層して図17に示すようなサブユニット25を形成し、その表面に外部電極31を形成し、そして、必要な伸縮ストロークを得るために図18に示すように必要個数だけこのサブユニット25を接着剤27で連結して圧電素子柱29を形成する。そして、外部電極に一樣に銀ペースト等を塗布焼成して外部電極31を接続し、そして、この外部電極31に1本の外部接続リード線33が半田付けされることになる。

【0008】しかしながら、この場合には、アクチュエータの伸縮駆動により薄い外部電極31にクラックが発生して破断する場合もあり、電氣的に不導通になる場合があった。このような破断は、特に、サブユニット25同士を接続する部分で発生する傾向にあった。そこで、図19に示すように各サブユニット25の外部電極31毎にリード線35でブリッジ状に半田37により接続し、電氣的接続を図ることも行なわれた。

【0009】しかしながら、この場合には、半田接合時の熱により外部電極31を構成する材料中に含まれる銀がいわゆる電極銀咬れを生じ、リード線35が容易に剥がれ易くなるのみならず、半田付け時のヒートショックにより圧電素子自体が熱破損する場合もあった。更には、各サブユニット毎に半田付けをしなければならないことから、特に、ユニット数が多くなった場合には半田付け作業に多大な時間を要し、コスト高の原因となっていた。

【0010】本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、圧電素子間を連結する圧電素子連結電極を半田を用いなくて容易に取り付けるようにした圧電アクチュエータを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記問題点を解決するために、圧電シートの表面に内部電極を形成してなる圧電素子板を複数枚積層して、前記内部電極の電極取り出し部を側面に有する圧電素子を形成し、この圧電素子を複数個接合して圧電素子柱を形成し、この圧電素子柱の前記電極取り出し部の面に沿って弾性を有する導電材料よりなる圧電素子連結電極を導電性接着剤により貼り付けて形成するように構成したものである。

【0012】

【作用】本発明は、以上のように構成したので、圧電素子柱の電極取り出し部の面に圧電素子連結電極を形成するときにこれを導電性接着剤により貼り付けるようにしたので、従来必要とされた半田を用いることがなくなり、従って、半田熱に起因する種々の問題点、すなわち電極銀咬れやヒートショックによる素子破損をなくすることが可能となり、また、貼り付け操作も簡単に行なうことができる。また、連結電極自体が弾性を有すること

から、アクチュエータの伸長時にこれを拘束することがない。この場合、圧電素子連結電極を貼り付ける前の各圧電素子の電極取り出し部の面に、内部電極を一層おきに接続する外部電極を形成し、この外部電極上に導電性接着剤を介して圧電素子連結電極を形成するようにすれば、個々の圧電素子内における内部電極同士の電氣的接続を確実に行なうことができ、アクチュエータの信頼性を高めることができる。

【0013】また、薄板状の圧電素子連結電極自体に交互に方向が異なる方向から切り込まれた切り込み部を形成してこれにヒンジ機能を持たせることにより、圧電アクチュエータの駆動時にこれが伸長した時に、この伸長を許容することができるので、アクチュエータ自体の伸長を拘束することがないのみならず、連結電極自体の破断も防止することが可能となる。更に、上記切り込み部間のピッチを圧電素子の厚みと略同一に設定すれば一層ヒンジ機能を有効に発揮することが可能になる。

【0014】

【実施例】以下に、本発明に係る圧電アクチュエータの一実施例について詳述する。図1から図6は本発明圧電アクチュエータに用いる圧電素子柱の製造工程を示す図であり、図1は圧電シートに内部電極と収縮率整合薄膜を設けた圧電素子板を示す平面図、図2は図1に示す圧電素子板の収縮率整合薄膜の部分を示す拡大図、図3は図1に示す圧電素子板の積層状態を示す図、図4は圧電素子板を積層して形成した圧電素子を示す斜視図、図5は図4に示す圧電素子板の側面図、図6は圧電素子を積み上げて接続して形成した圧電素子柱を示す斜視図である。

【0015】また、図7は圧電素子柱に圧電素子連結電極を貼り付ける時の状態を示す図、図8は圧電素子連結電極を示す平面図、図9は本発明に係る圧電アクチュエータを示す斜視図、図10は図9に示す圧電アクチュエータの断面図である。尚、先に説明した従来装置と同一部分については同一符号を付して説明する。本発明の重要な点は、図10に示すように内部電極に電圧を印加する電極構造として、圧電素子の側面に、導電柱接着剤を介して薄板状の圧電素子連結電極を貼り付けるようにした点にあり、これにより半田を用いなくて済むようにしたものである。

【0016】まず、図6に示すような圧電素子柱を形成するまでの工程を説明する。図1(A)に示すようにPZT等のセラミック材よりなる厚さ100μm程度、縦横25mm程度の薄板状の圧電シート2の表面に、その端辺2Aから所定の間隔Dを隔てて、例えば銀-パラジウム等よりなる非常に薄い内部電極4を形成しており、一部の端辺2Bに対してのみ内部電極4の薄膜金属を部分的に延在させて端辺2Bから外部に露出させて、電極取り出し部14を形成している。これにより圧電素子板21が形成されることになる。圧電シートの薄板形成

は、例えばドクターブレード法により行なわれ、内部電極4の形成はスクリーン印刷等を用いて行なう。

【0017】この場合、電極取り出し部14以外の内部電極4を取り囲むようにコ字状になされた領域、すなわち圧電シート上の、内部電極4を形成していない領域は、後述するように電界が印加されずに圧電効果に寄与しない領域となることから圧電不活性領域24となり、これに対して内部電極4が形成されている領域は圧電活性領域26となる。

【0018】そして、略コ字状の圧電不活性領域24に本発明の特長とする収縮率整合薄膜28を、内部電極と同じくスクリーン印刷等を用いて形成する。この場合、この整合薄膜28は、内部電極4と同じ位い薄い金属薄膜により形成し、圧電シート2の各端辺2A、2Bよりも僅かに内側に位置させると同時に、内部電極4からも必ず僅かに離間させて形成し、後述するように積層したときに電気的に浮遊状態となるように設定する。圧電不活性領域の幅Dが、約1.0mmであるのに対して、整合薄膜28の幅は、約0.5mm程度に設定する。

【0019】尚、図1(A)においては、電極取り出し部14は、端辺2Bの中央部となるように位置させたが、これに限定されず、図1(B)に示すように電極取り出し部14を端辺2Bのいずれか一方の端部の方に位置させて設けるようにしてもよいし、また、これを取り囲む収縮率整合薄膜28を途中で部分的に分断させて設けるようにしてもよい。また、このように整合薄膜28を設ける理由は、後で詳しく説明するように圧電素子焼成時における応力の発生を防止するためである。

【0020】整合薄膜28としては、全面ベタ状の金属薄膜として形成してもよいが、積層時の圧電シート間の密着性を考慮すると、例えば図2に示す拡大図のように微小円形状の整合薄膜28を密集させて例えば水玉模様状に散在させて設けるように形成するのが好ましい。これは、圧電シート同士の焼成後の強度よりも、圧電シートと電極間の焼成後の強度が弱く、圧電素子全体の強度を考えると、できるだけ圧電シート同士の密着を多くする必要があるためである。尚、図2において、円形の整合薄膜28間の距離は説明の容易化のために大きく記載しているが実際には非常に小さく、例えば0.06～0.15mm程度に設定されている。

【0021】また、整合薄膜を散在させて設ける場合には、個々の形状は円形に限らず、例えば楕円形状、矩形形状、三角形などどのような形状でもよい。また、この整合薄膜24の材料としては、内部電極と同じ材料、例えば銀-パラジウムを用いればよく、その場合には、スクリーン印刷等により内部電極の形成時に同時に整合薄膜28も形成することができ、工程数も増加させる必要がない。ただし、収縮率の整合を図るための同様の効果が得られるのであれば、内部電極と同一の材料でなくても良い。

【0022】このように、圧電シート2上に内部電極4と整合薄膜28を形成して圧電素子板21の形成が完了したならば、同様に形成した多数の圧電素子板21を複数枚、例えば25枚、図3に示すように積層し、冷間静水圧法(CIP: Cold Isostatic Press)によりプレスしつつ例えば120℃程度の温度下で圧着処理し、更にこれを1075℃程度の高温で焼結処理して図4に示すような単体の圧電素子22を形成する。尚、この圧電素子22は図18に示すサブユニット25に対応するものである。

【0023】圧電素子板21の積層に際しては、上下方向に隣り合って接合する圧電素子板21間の電極取り出し部14の位置する方向を互いに逆方向となるように積層する。従って、圧電シート2は一層おきに同じ方向に電極取り出し部14が位置するようになっている。この結果、焼結後の圧電素子の側壁には、図4に示すように一層おきに電極取り出し部14の端部が外部に露出することになる。図4に示すように圧電素子を焼結した時には、その表面に非常に僅かではあるが凹凸が生じているので、これを積み上げるに先立って圧電素子の上下面を表面研磨して平坦性を確保するのがよい。この場合、表面研磨により内部電極が露出することを防止するために、図5に示すように、圧電素子22の上下面に圧電シートの約3層分に相当する厚み(300μm程度)で、内部電極と整合薄膜を形成していない圧電シートのみをダミーとして積層しておくのがよい。この表面研磨により、例えば焼結時の高さが2.7mm程度であった圧電素子を削り込んで2.5mm程度に設定する。

【0024】また、上述のように圧電素子板を約25枚程積層して圧電素子22を形成した理由は、上述のような圧電シートの素材及び寸法では、この積層数を30枚以下の範囲内、好ましくは25枚程度にした時に積層数をあまり少なくし過ぎることなく内部応力を減少できるからである。これを図10に示すシミュレーション結果に基づいて説明する。図13は積層圧電シート数を種々変えたときの圧電素子中心部からの距離と積層方向の応力との関係のシミュレーション結果を示すグラフであり、グラフの上方に圧電素子の対応部分を示している。

【0025】これは一枚のPZTの圧電シートの厚みを0.09mmとし、圧電不活性部(圧電不活性領域)の長さを0.6mmに設定して、150ボルトの直流電圧を印加した時の結果を示す。図中、横軸の原点は素子の中心部を示し、最大値2.5mmは素子の表面を示している。グラフから明らかなようにシートの積層枚数が多くなるほど、圧電不活性部と圧電活性部との界面での応力が大きくなり、特にクラック発生の最大原因である引っ張り応力がその積層枚数に依存して増加する。従って、積層枚数を低減することで、引っ張り応力の低減は図れるが、残念ながら圧電活性部と圧電不活性部との界面では必ず引っ張り応力が発生する。しかしながら、素

子の耐湿性の向上を検討する場合、水分の侵入経路を断つことを最大の目的と考えると、素子の表面でのクラックを防止することが望ましく、その部分でのクラックの発生を最小限に抑えればよいといえる。本シミュレーション結果では、積層枚数を30層以下にすることで、素子表面部での応力が圧縮側に働くことが明らかになった。

【0026】従って、積層枚数を25枚程度にすることで、素子表面にクラックの入りにくい圧電サブユニットを形成することが可能となる。なお、積層枚数をあまり少なくしすぎると生産効率が低下するのであまり好ましくない。ここで、本シミュレーションの結果は、圧電シートと内部電極間の密着状態が良好で、かつ内部に残留応力等が内在していない、理想的な焼結体をモデルに用いている。従って、前述のように焼結時の収縮率の整合を図るための薄膜を形成しない場合、素子内での密着強度が低減し、例えば圧電活性部と圧電不活性部近傍に生じる引っ張り応力により、素子の側面にまで到達するような致命的なクラックを生じる。このように内部電極4を形成していない圧電不活性領域24に収縮率整合薄膜28を形成した圧電シート2を多数枚（本シミュレーションの結果に基づく枚数）積層して圧電素子を形成することにより、素子の焼結時の圧電不活性領域24と圧電活性領域26におけるセラミック材の収縮率が略同じになり、残留応力を生ぜしめることがなくなり、密着強度が高く、クラックの発生し難い素子を提供することが可能となる。

【0027】この場合、上述のように整合薄膜を例えば水玉模様状に散在させて形成することにより、シート間の密着強度の劣化も少なくなり、一層クラックの発生を防止することができる。また、上述のように圧電シートの積層枚数も最大25枚程度とすることにより、圧電アクチュエータ製造時の素子積み上げ数もさほど多くなることなく、クラックに対する強度の大きな圧電アクチュエータを得ることができる。そして、圧電素子の電極取り出し部14が露出している2つの側面に沿って銀ペースト等を塗って例えば700℃程度で焼成することにより第1及び第2の外部電極30、32を形成する。そして、この外部電極30、32に直流電圧を印加することにより、圧電シートのセラミック材を分極させ、圧電素子を完成させる。

【0028】前述したように、一般に、圧電素子の伸縮ストロークは非常に小さく、例えば0.1mm程度の厚みの圧電シートに150ボルト程度の直流電圧を印加した時に得られる伸縮量は0.1μm程度なので、必要とするストロークに見合った伸縮量を得るためにはこの圧電素子を複数個直列に接続する。そこで、図4に示すように形成した分極後の圧電素子22を図6に示すように複数個、図示例では4つ積み上げて、弾性接着剤23により接合し、圧電素子柱44を完成する。この圧電素子

柱44の寸法は、例えば縦横がそれぞれ5.5mmで、厚みが2.5mm程度の圧電素子22を、8個直列にその厚み方向へ積み上げて接続することにより全長が約20mmとなる。

【0029】この圧電素子柱44の状態では、各圧電素子22に形成された外部電極30同士或いは32同士は電気的には接続されてはいない。その理由は、圧電素子22同士を接合するときに接着剤23を介在させていることから、隣接する圧電素子同士の外部電極間に非常に僅かな間隙が生ずるからである。これらの外部電極同士を電気的に接続するために、先に説明したように従来においては、各外部電極を接続するようにリード線等を半田により接合していたが、この場合には、半田熱による不都合が発生していた。そこで、本発明においては、導電性接着剤により圧電素子連結電極を貼り付けて固定することにより、半田を用いることなく電極を形成している。すなわち、図7及び図8に示すように薄板状の導電性部材よりなる圧電素子連結電極46を電極取り出し部の面、すなわち外部電極30、32に沿って導電性接着剤50（図10参照）を用いて接合する。外部電極は、+側と-側のものが2系列あることから、この場合は圧電素子柱44の一对の対向側電極面にそれぞれ1つずつ形成する。

【0030】この圧電素子連結電極46は、外部電極列の略全体を被うような長さ、すなわち圧電素子柱44と略同じ長さに設定されており、その長さ方向の略中央部には、接合側面の中心側へ突出させたランド部48が形成されており、ここに外部より電圧を印加するためのリード線、すなわち外部接続リード線50（図9参照）を接続し得るようになっている。圧電素子連結電極46の材料としては、可撓性を有する導電性材料を用いる。この材料としては例えばリン青銅、ベリリウム銅、洋白等のバネ性或いは伸縮性を有する金属材料や、カーボン、或いは可撓性導電性樹脂等を用いることができる。

【0031】図8に示すように圧電素子連結電極46の厚みは極力薄くし、例えば約0.1~0.2mm程度にし、その長さL1は前述のようにこれを貼り付けるべき圧電素子柱と略同じ長さに設定され、幅W1は外部電極の幅と略同じ幅、例えば1mm程度に設定され、更に、ランド部48の幅W2も1mm程度に設定される。連結電極46の形状を成形するには、材料プレートをプレスで打ち抜いたり、或いは金属プレートの場合には、エッチングにより成形することにより高い寸法精度で成形することができる。プレスによる打ちぬきの場合には、そり、たわみ、バリ等が生じやすいが、エッチングの場合にはそれらは発生せず、好ましくはエッチングにより成形する。

【0032】また、導電性接着剤50は、外部電極列の表面全体に塗布してもよいし、或いは圧電素子連結電極46の貼り付け面側全体に塗布するようにしてもよい。

導電性接着剤50としては、導電性のある接着剤であるならばどのようなものでもよく、例えば粉末状の金、銀、銅、ニッケル、カーボン等をアクリル樹脂、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂などの合成樹脂に混入してなるドータイト（商品名）を用いることができる。このようにして、半田を用いることなく圧電素子連結電極46を貼り付け固定したならば、図9に示すようにランド部48に外部接続リード線50を半田52より接合し、圧電アクチュエータを完成する。この横断面図は、図10に示されている。図7、図8及び図10等に示す構造は、図1(B)に示すように電極取り出し部14を端辺2Bの中心ではなく端部に設けた圧電素子板を積層した場合の構造を示す。

【0033】さて、このように構成した圧電アクチュエータの各内部電極にリード線50を介して直流電圧を印加して駆動させると、電歪効果によりアクチュエータ全体がその長さ方向に印加電圧に比例して伸長することになる。この場合、連結電極46を構成する材料は、弾性を有する導電性材料よりなるとから、アクチュエータの伸長時にこの連結電極46自体もその長さ方向に僅かに伸び、アクチュエータの伸長動作を拘束することがないので、大きな発生変位量を得ることができる。

【0034】また、この圧電素子連結電極46は、導電性接着剤50を用いて、圧電素子柱29の外部電極列に接合するようにしているので、接合に半田を用いる必要がなく、従って、半田熱に起因する種々の問題点、例えば半田熱による外部電極の銀喰われ、ヒートショックによる圧電素子の破損等をなくすることが可能となる。更には、個々の圧電素子に対して煩雑な半田付けをする必要がなく、貼り付け操作で容易に連結電極46を接合することができるので、その分、作業性が容易となり、製造コストを削減することが可能となる。

【0035】尚、ランド部48の表面に予め半田メッキを施しておくことにより、外部接続リード線50を接続するときに、接続操作を容易に行なうことができる。また、図10に示すように電極取り出し部14を端辺2Bの中心ではなく端部に設けた場合には、リード線50の接続点がアクチュエータの幅方向の中心に位置することになり、リード線取り付け操作性がよくなる。更に、上記実施例では、圧電素子の電極取り出し部の露出端部に外部電極30、32を予め焼成して設けた構造のものについて説明したが、これに限定されず、この外部電極を形成しないで、外部電極なしの圧電素子を図6に示すように所定数上下に接続し、この電極取り出し部の露出端部に沿って導電性接着剤を直接塗布し、この上に前述したような圧電素子連結電極を貼り付けるようにしてもよい。

【0036】また、上記実施例においては、圧電素子連結電極46は、図8に示すように長尺な略長方形形状となるように形成したがこれに限定されず、図11に示すよ

うにその幅方向に沿って形成した切り込み部54を、長さ方向に沿って所定ピッチで多数設けた連結電極構造としてもよい。この場合、切り込み部54の切り込み方向は、隣り合う切り込み部54同士が互いに逆方向となるように設定する。これにより、各切り込み部54の部分で連結電極46は図中上下方向へ僅かに屈曲可能になってヒンジ機能を持たせることができ、アクチュエータ自体の伸長時の拘束力を一層小さくすることができるので、発生変位量を更に大きくすることができる。

10 【0037】図11(A)に示す連結電極56の場合は、図8に示す長尺長方形の連結電極48に単に切り込み部54を形成しただけの構造であるが、これに対しては図11(B)に示す連結電極58の場合は、連結電極58の全体形状を僅かな角度でもって屈曲するジグザグ形状とし、且つその屈曲部に切り込み部54を形成すると同時にその切り込み深部に円形の切り込み孔60を形成しており、一層ヒンジ機能を高くして伸長時の拘束力を減少させている。図11(A)及び図11(B)に示す構造においては、隣り合う切り込み部54間のピッチ12は、好ましくは図12に示すように圧電素子22の厚み13と略同じに設定する。そして、この連結電極56、58を圧電素子22の外部電極30、32上に接合する場合には、図7及び図8にて説明したように外部電極列全面に亘って導電性接着剤を塗布するのではなく、個々の外部電極に対してピンポイント的に一ヶ所だけ導電性接着剤50を塗布し、そして、圧電素子の接合部と連結電極の切り込み部54の位置が略一致するように連結電極を貼り付け固定する。そして、切り込み部54の残余部分の位置とピンポイント接着剤50の位置を、外部電極幅方向において僅かにずらしておく。

30 【0038】このように構成することにより、連結電極と外部電極との接合面積が少なくなるので切り込み部54におけるヒンジ機能を更に大きくすることができ、従って、アクチュエータ伸長時の拘束力を更に減少させて、一層、発生変位量を大きくすることができる。尚、上記実施例では、4つの圧電素子を接続した場合について説明したが、この素子板は必要に応じて増減されるのは勿論である。圧電素子板に収縮率整合薄膜を設けた構造の交互電極型の圧電アクチュエータを例にとって説明したが、この整合薄膜を用いていない交互電極型の圧電アクチュエータにも適用し得るのは勿論である。

40 【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の圧電アクチュエータによれば、次のように優れた作用効果を発揮することができる。圧電素子柱の側面に、弾性を有する導電材料によりなる薄板状の圧電素子連結電極を、導電性接着剤を用いて貼り付け固定するようにしたので、発生変位量をほとんど減少させることなく、しかも従来用いられていた半田を使用することなく連結電極を設けることができる。従って、半田熱に起因する銀喰われや素

子のヒートショック破損等の発生をなくすることができ、耐久性及び信頼性を向上させることができる。圧電素子連結電極に切り込み部を形成してヒンジ機能を持たせた場合は、アクチュエータ伸長時の拘束力はほとんど発生しないので、発生変位量を大きくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】圧電シートに内部電極と収縮率整合薄膜を設けた圧電素子板を示す平面図である。

【図2】図1に示す圧電素子板の収縮率整合薄膜の部分を示す拡大図である。

【図3】図1に示す圧電素子板の積層状態を示す図である。

【図4】圧電素子板を積層して形成した圧電素子を示す斜視図である。

【図5】図4に示す圧電素子の側面図である。

【図6】圧電素子を積み上げて接続して形成した圧電素子柱を示す斜視図である。

【図7】圧電素子柱に圧電素子連結電極を貼り付ける時の状態を示す図である。

【図8】圧電素子連結電極を示す平面図である。

【図9】本発明に係る圧電アクチュエータを示す斜視図である。

【図10】図9に示す圧電アクチュエータの断面図である。

【図11】圧電素子連結電極の変形例を示す図である。

【図12】図11に示す連結電極を接合した時の状態を示す拡大図である。

【図13】積層圧電シート数を種々変えた時の圧電素子中心部からの距離と積層方向の応力との関係を示すシミュレーション結果を示すグラフである。

【図14】従来の全面電極型の圧電アクチュエータを示す斜視図である。

【図15】従来の交互電極型の圧電アクチュエータを示す斜視図である。

【図16】図15に示すアクチュエータの圧電シートの積層状態を説明するための説明図である。

【図17】従来の圧電アクチュエータのサブユニットを示す図である。

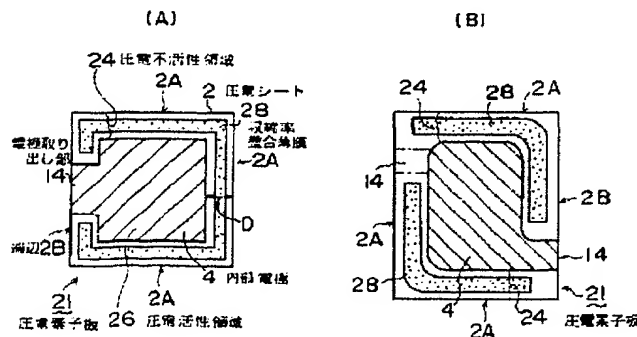
【図18】図17に示すサブユニットを積み上げて接合した時の状態を示す図である。

【図19】図18に示す積み上げユニットの外部電極にリード線を接合した状態を示す図である。

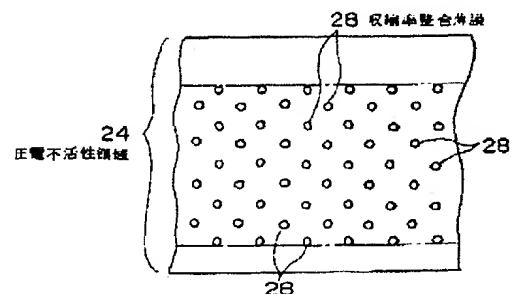
【符号の説明】

2	圧電シート
4	内部電極
14	電極取り出し部
16	圧電活性部
18	圧電不活性部
21	圧電素子板
22	圧電素子
28	収縮率整合薄膜
30	第1の外部電極
32	第2の外部電極
44	圧電素子柱
46	圧電素子連結電極
48	ランド部
50	導電性接着剤
54	切り込み部
56、58	圧電素子連結電極

【図1】

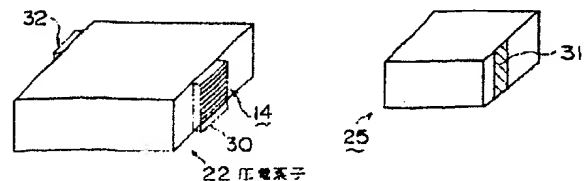


【図2】

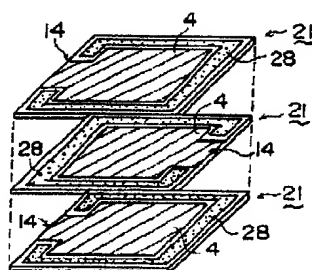


【図4】

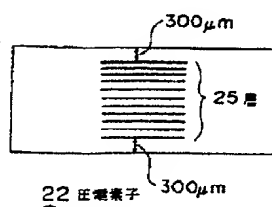
【図17】



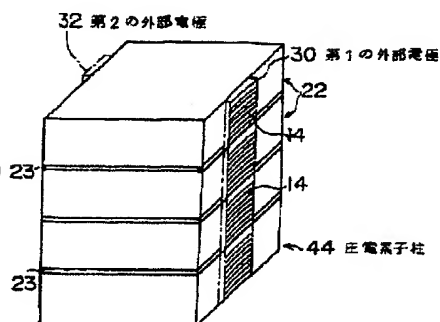
【図3】



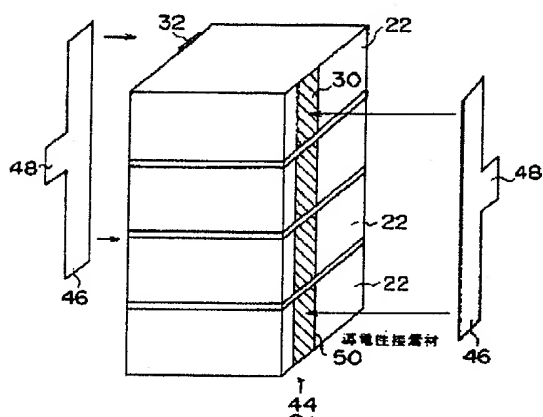
【図5】



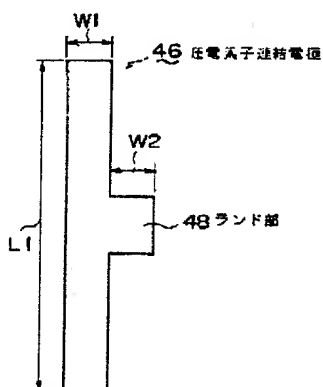
【図6】



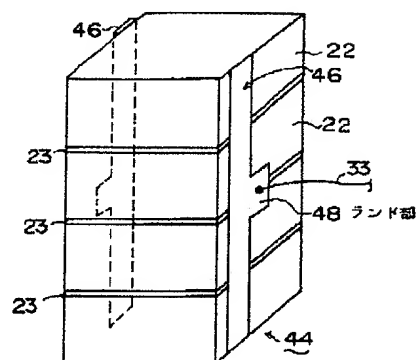
【図7】



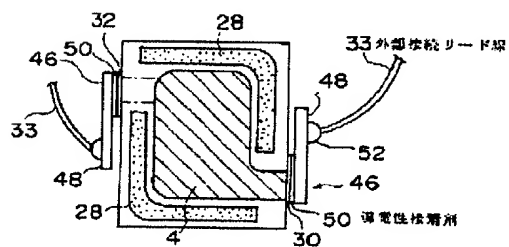
【図8】



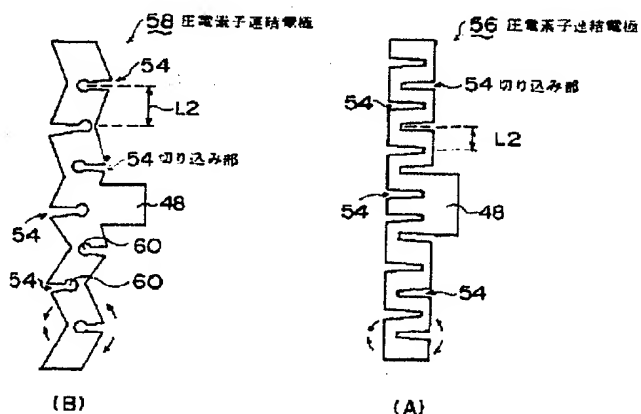
【図9】



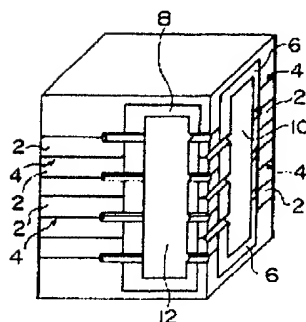
【図10】



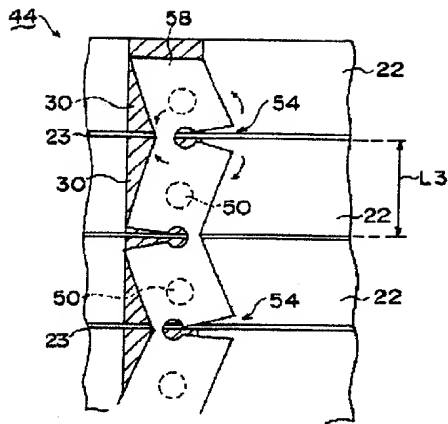
【図11】



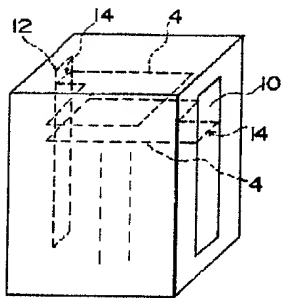
【図14】



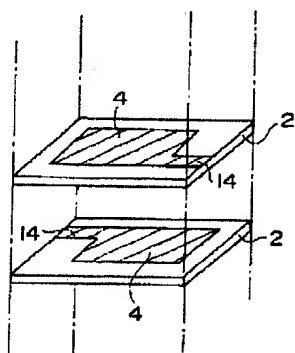
【図12】



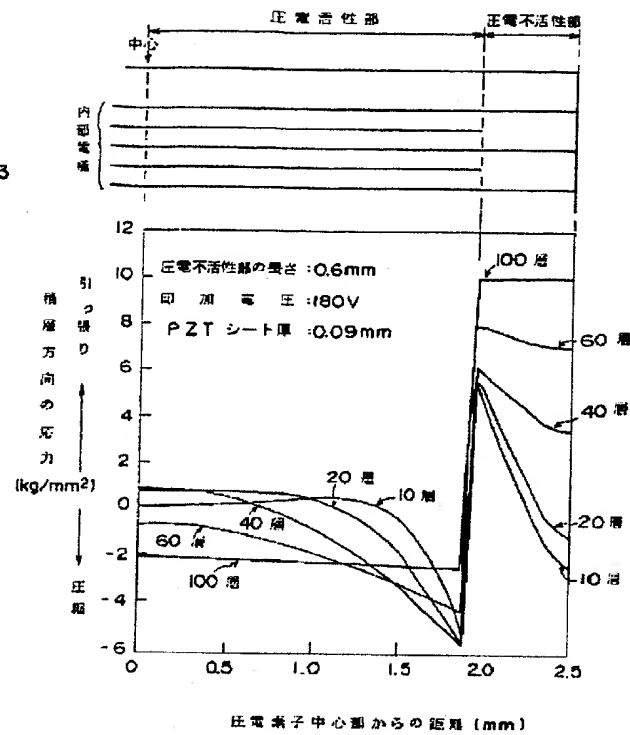
【図15】



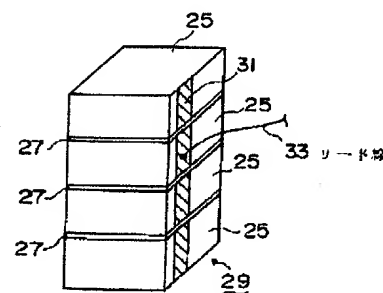
【図16】



【図13】



【図18】



【図19】

